نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۱۲-۲۰۱

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 201-212

بهینه‌سازی خشک‌کردن پاششی عصاره گیاه بادرشبو با استفاده از روش سطح پاسخ و تاپسیس

ادریس رحمتی[۱]، فاروق شریفیان[۲*]، محمد فتاحی[۳]، غلامحسن نجفی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده

خشک‌کردن پاششی به‌طور متداول در تولید پودر گیاهان دارویی به‌کار می‌رود، کیفیت پودر به‌دست آمده وابسته به شرایط خشک‌کردن و ماده کمکی به‌کار برده شده است. هدف از این تحقیق بهینه کردن متغیرهای فرآیند همچون دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی بر روی محتوای رطوبتی، عملکرد خشک کردن، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصاره گیاه بادرشبو می‌باشد. بدین منظور از دو روش سطح پاسخ و تاپسیس برای بهینه‌سازی و رتبه‌بندی هر یک از متغیرها استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای هوای ورودی و نرخ جریان هوای فشرده بیشترین تاثیر را روی محتوای رطوبتی و عملکرد خشک‌کردن نمونه‌ها داشتند، در حالی‌که غلظت ماده کمکی اثر معنی‌داری بر محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها داشت. بهترین تیمار در روش تاپسیس در دمای هوای ورودی ۱۵۰ °C، نرخ جریان هوای فشرده $7/5\ \mathrm{Lit\ min^{-1}}$ و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد به‌دست آمد. همچنین شرایط بهینه در روش سطح پاسخ در دمای هوای ورودی ۱۵۲/۵، نرخ جریان هوای فشرده ۸/۰۴۶ و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، خشک‌کردن پاششی، روش تاپسیس، روش سطح پاسخ، شرایط خشک‌کردن، گیاه بادرشبو

مقدمه

کاربرد گیاهان دارویی از زمان‌های قدیم جهت مصارف دارویی، بهبود طعم مواد غذایی و درمان بسیاری از بیماری‌ها شناخته شده است. امروزه گیاهان دارویی نقش مهمی در مراقبت از سلامتی حدود ۸۰ درصد از جمعیت جهان را بر عهده دارند و تقریباً نیمی از داروهایی که در بیمارستان‌ها به‌کار گرفته می‌شود از گیاهان دارویی تهیه می‌گردد. این گیاهان معمولاً حاوی خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی هستند که بدن انسان را در مقابل اکسیداسیون سلولی و میکروارگانیسم‌های پاتوژنیک محافظت می‌کنند (Cordeiro and Oliveira, 2005). بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. یک گیاه یک‌ساله با گل‌های سفید و آبی و برگ‌های معطر، متعلق به خانواده نعناعیان است که تا ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری رشد می‌کند. این گیاه بومی آسیای مرکزی و پذیرفته شده در مرکز و شرق اروپاست (Dastmalchi *et al.*, 2007a). همچنین در چین، مصر، مغولستان و هیمالیا یافت می‌شود. در ایران عمدتاً در بخش‌های شمال کشور و کوه‌های البرز رشد می‌کند. استان آذربایجان‌غربی از نظر سطح زیر کشت گیاه بادرشبو بیشترین مقدار را در کشور به خود اختصاص داده است. طبق آمار سال ۱۳۹۵ بالغ بر۱۶۰ هکتار از اراضی استان آذربایجان‌غربی به کشت بادرشبو اختصاص داشته که از این مقدار حدود سه هزار و سیصد و چهل تن محصول برداشت گردیده است. از فرآورده‌های گیاه بادرشبو می‌توان به عرقیات، اسانس و عصاره اشاره کرد. عصاره این گیاه به‌طور عمده در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی، طعم‌دهنده‌ها و همچنین به‌عنوان افزودنی در چای، نوشیدنی‌ها، انواع شیرینی‌ها و محصولات دیگر به‌کار گرفته می‌شود. با توجه به مزایای عصاره گیاه بادرشبو و فصلی بودن آن از یک سو و تحت تأثیر قرار گرفتن ترکیبات فعال عصاره به‌واسطه دما، اکسیژن، نور و آنزیم‌ها از سوی دیگر خشک‌کردن عصاره این گیاه امری ضروری است.

خشک‌کن‌های متعددی همچون خشک‌کن پاششی، خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن فواره‌ای جهت خشک‌شدن عصاره گیاهان دارویی استفاده می‌شود. انتخاب روش، مقدار دما و زمان مناسب خشک‌کردن با توجه به نوع ماده مؤثره متفاوت می‌باشد (Oztekin and Martinov, 2014). خشک‌کردن توسط خشک‌کن پاششی تبدیل مایع به ذرات خشک‌شده پودر، به‌وسیله اسپری کردن مایع به درون محفظه‌ی خشک‌کردن است که با فراهم کردن حجم کافی از هوای گرم باعث تبخیر قطرات مایع و خشک‌کردن ذرات محبوس شده در محفظه‌ی خشک‌کن می‌گردد. مایع می‌تواند محلول، سوسپانسیون، امولسیون یا ژل باشد. در خشک‌کن‌های پاششی علی‌رغم دمای بالای استفاده‌شده برای خشک‌کردن، ذرات اسپری شده به‌واسطه‌ی از دست دادن رطوبت، در دمای بسیار پایین‌تری و برای زمان بسیار کوتاهی باقی می‌مانند، از این رو این روش خشک‌کردن به‌عنوان خشک‌کردن با دمای پایین نیز شناخته می‌شود.

۱ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: f.sharifian@urmia.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v10i2.78344

در زمینه خشک‌شدن گیاهان دارویی با خشک‌کن‌ها، تحقیقات متعددی انجام شده است، از جمله می‌توان به خشک‌شدن گیاه نعناع با خشک‌کن خورشیدی و خلائی-مادون قرمز (Bahmanpour *et al.*, 2017)، خشک‌کردن شوید جهت ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه کنترل هوای خشک‌کننده (Razmipour *et al.*, 2015)، خشک‌کردن پاششی عصاره آبی خربزه تلخ (Tan *et al.*, 2015) خشک‌کردن پاششی عصاره رزماری (Chaul *et al.*, 2017) و خشک‌کردن عصاره کنگر فرنگی (Namavar *et al.*, 2018) با خشک‌کن خلایی پاششی اشاره کرد. همچنین پژوهش‌های متعددی در مورد گیاه بادرشبو و شناسایی ترکیبات آن انجام شده است. از جمله می‌توان به بررسی ترکیبات شیمیایی و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرشبو (Dastmalchi *et al.*, 2007b)، تاثیر کود آلی بر روی ترکیبات شیمیایی اسانس روغنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرشبو (Fallah *et al.*, 2018) ، بررسی خواص مورفولوژیکی، اسانس روغنی و ترکیبات شیمیایی گیاه بادرشبو در پنج منطقه مختلف (Yousefzadeh *et al.*, 2018) و خشک‌کردن گیاه بادرشبو (Rahmati *et al.*, 2018) اشاره کرد.

در خشک‌کردن پاششی خواص فیزیکی و شیمیایی پودر به‌دست آمده به‌وسیله فاکتورهایی همچون دمای هوای خشک‌کردن، نرخ جریان هوای فشرده، غلظت ماده کمکی و نرخ جریان عصاره تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Tonon *et al.*, 2008). بنابراین جهت دستیابی به پودر با کیفیت بالا، کنترل شرایط خشک کردن و در نتیجه بهینه‌سازی فرآیند امری ضروری است. روش‌های مختلفی همچون روش سطح پاسخ و شبکه‌های عصبی به‌طور موفقیت‌آمیزی جهت بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن پاششی به‌کار گرفته شده است. ولی تاکنون هیچ مطالعه‌ای در ارتباط با دو روش سطح پاسخ و روش تاپسیس جهت بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن عصاره گیاه بادرشبو گزارش نشده است. از این رو هدف از این تحقیق بررسی تأثیر فاکتورهای دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی بر روی محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل می‌باشد. در نهایت نقطه بهینه فرآیند خشک‌کردن با هر دو روش بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه و عصاره گیری

اندام‌های هوایی گیاه بادرشبو در تابستان سال ۱۳۹۵ از یکی از کشتزارهای ارومیه برداشت شد. پس از تهیه گیاه قسمت‌های اضافی و زائد گیاه جدا شد و در نهایت جهت خشک‌کردن به آزمایشگاه انتقال یافت. خشک کردن گیاه در شرایط سایه (°C ۳±۲۳) و به‌صورت لایه نازک انجام شد.

جهت عصاره‌گیری گیاه بادرشبو از روش خیساندن (Maceration) استفاده شد. بدین منظور از حلال‌های اتانول: آب به نسبت ۵۰:۵۰ (v/v) و نسبت گیاه به حلال ۱:۱۰ (w/v) در دمای ۲۵ °C استفاده شد. بعد از گذشت ۴۸ ساعت عصاره به‌دست آمده با اسفاده از کاغذ صافی فیلتر و در نهایت جهت تغلیظ عصاره و حذف اتانول از دستگاه روتاری (Buchi Rotavapor R-205, Switzerland) استفاده شد.

خشک‌کن پاششی

قبل از استفاده از خشک‌کن پاششی، یک ماده تحت عنوان ماده کمکی به عصاره اضافه می‌گردد. ماده کمکی بازده و کیفیت نهایی پودر را بهبود و در شکل یک پوسته یا ماتریس از اجزای فعال محافظت می‌کند (Domian *et al.*, 2015). از ماده کمکی‌های متداول در فرآیند خشک‌کن پاششی می‌توان به کربوهیدرات‌ها، صمغ‌ها، مشتقات سلولز و پلیمرهای مصنوعی اشاره کرد (Chiu *et al.*, 2007; Ersus and Yurdagel, 2007; Tuyen *et al.*, 2010). هر یک از این مواد دارای مزایا و معایبی در خواص، هزینه و بازده انکپسولاسیون دارند. مالتودکسترین به‌تنهایی یا در ترکیب با مواد دیگر در صنایع غذایی و صنایع دارویی، عصاره‌های گیاهی، مواد معطر و ویتامین‌ها استفاده می‌شود (Sadeghi *et al.*, 2008; Pierucci *et al.*, 2007; Bae and Lee, 2008). در این تحقیق مالتودکسترین و پکتین سیب به علت خوراکی بودن ، هزینه مناسب و حلالیت بالا به عنوان ماده کمکی استفاده شدند. نسبت‌های مختلف ماده کمکی (۳۰-۱۰درصد پکتین به مالتودکسترین) تهیه شد و سپس در داخل آب مقطر حل شدند. در نهایت با عصاره تغلیظ شده که حاوی ۰/۶ درصد وزنی ماده خشک در عصاره تغلیظ شده بود، مخلوط شدند.

در این پژوهش از یک خشک‌کن پاششی (Model-DSD-02) ساخت شرکت درسا به ساز، البرز، ایران با مشخصات (220VAC-14A-3000W) و با الگوی جریان هم‌جهت واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ارومیه استفاده شد (شکل ۱). محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای با قسمت پایینی مخروطی شکل و ابعاد ۹۵×۵۳×۷۰ (طول×عرض×ارتفاع) سانتی‌متر بود. فرآیند پاشش عصاره به داخل محفظه خشک‌کن توسط یک نازل دو جریانی با قطر ۰/۷ میلی‌متر تحت تأثیر هوای فشرده کمپرسور انجام می‌شود. نرخ جریان هوای فشرده توسط فلومتر هوا که روی دستگاه تعبیه شده، قابل تنظیم است. هوای محیط پس از عبور از یک گرم‌کن الکتریکی همسو با جریان عصاره وارد محفظه‌ی خشک‌کن می‌شود. در نهایت ذرات خشک‌شده در پایین سیکلون جمع‌آوری و از هوای خروجی جدا می‌گردند. پودر به‌دست آمده تا زمان شروع آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شد. در همه نمونه‌های خشک‌شده با خشک‌کن پاششی

دمای محیط (آزمایشگاه) و دبی خوراک به‌ترتیب ۲۵ °C و ۱۶ میلی‌لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل ۱– خشک‌کن پاششی مورد استفاده در این تحقیق
Fig.1. The spray dryer used in this research

طرح آزمایشی تحقیق

در بیشتر مطالعات بر مبنای آزمایش فاکتوریل، با توجه به افزایش تعداد تیمارها هزینه‌های آزمایش افزایش می‌یابد. باتوجه به این مهم، در این پژوهش از روش سطح پاسخ و استفاده از طرح باکس- بنکن با سه تکرار در نقطه مرکزی استفاده شد. مزیت اصلی روش سطح پاسخ، کاهش تعداد آزمایش‌های لازم جهت ارزیابی پارامترهای متعدد و برهم‌کنش بین آن‌ها است. مراحل تحلیل در روش سطح پاسخ شامل چهار مرحله اصلی: تعیین تعداد متغیرهای مستقل و وابسته، تشکیل جدول طرح آزمایش، مشخص کردن مدل آماری مناسب جهت تجزیه واریانس داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند می‌باشد. در این پژوهش سه متغیر مستقل دمای هوای ورودی (۱۸۰-۱۲۰ °C)، غلظت ماده کمکی (۳۰-۱۰ درصد) و نرخ جریان هوای فشرده ($۵-۱۰ Lit\ min^{-1}$) در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت. همچنین محتوای رطوبتی، عملکرد خشک کردن، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان متغیرهای پاسخ در نظر گرفته شدند. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (Design-Expert® Software Version 10) مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت دقت مدل آماری و معنی‌داری ضرایب رگرسیونی با استفاده از آنالیز واریانس انجام شد. پس از آنالیز واریانس درجه اهمیت هر یک از متغیرهای وابسته مشخص و بر مبنای آن بهینه‌سازی فرآیند صورت گرفت.

آنالیز خواص فیزیکی و شیمیایی پودر

محتوای رطوبتی: جهت اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها از روش (AOAC) با اندکی تغییرات استفاده شد (Fazaeli *et al.*, 2012). بدین منظور یک گرم پودر از هر یک از نمونه‌ها با سه تکرار در یک پلیت شیشه‌ای ریخته شد. سپس پلیت حاوی پودرها در داخل آون خلا در دمای ۷۰ درجه‌سیلسیوس قرار گرفتند. در نهایت وقتی که نمونه‌ها به وزن ثابت رسیدند، آن‌ها را از داخل آون بیرون آورده و جرم نهایی اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به رطوبت از دست رفته، رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر محاسبه شد.

عملکرد خشک‌کردن: عملکرد خشک‌کن یکی از اصلی‌ترین شاخص‌ها و بیانگر میزان اقتصادی بودن، کارایی و همچنین درصد موفقیت‌آمیز بودن فرآیند در طی خشک‌کردن پاششی است. عملکرد خشک‌کن پاششی از نسبت وزن پودر به وزن اجزای جامد خوراک و از رابطه (۱) به‌دست آمد (Gallo *et al.*, 2011).

$$\text{عملکرد خشک کن} = \frac{(\text{وزن نهایی پودر})}{(\text{وزن ماده جامد موجود در عصاره})} \qquad (۱)$$

محتوای فنول کل: محتوای فنل کل نمونه‌ها بر اساس روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالتیو و با استفاده از گالیک اسید به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد (Marinova *et al.*, 2005). بدین منظور ۰/۱ گرم پودر را در ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۵۰٪ حل کرده و از آن به مقدار ۵ میکرولیتر برداشته شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها ۱۸۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالتیو اضافه شد. بعد از ۵ دقیقه، سدیم کربنات ۷/۵ درصد به مخلوط اضافه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۹۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق (۳±۲۵ °C) قرار داده شدند. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر (UV2100 PC) تعیین و مقدار فنل کل بر حسب mg GAE/g DW به‌دست آمد.

محتوای فلاونوئید کل: مقدار فلاونوئید کل بر اساس روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید و استفاده از کوئرستین به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد (Beketov *et al.*, 2005). ۰/۱ گرم پودر را در ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۵۰ درصد حل کرده و از آن به مقدار ۵ میکرولیتر برداشته شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها ۳۰۰ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم، ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول استات سود ۱ مولار و در نهایت با آب مقطر به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب مخلوط در طول موج ۳۸۰ نانومتر نسبت به شاهد تعیین و مقدار فلاونوئید کل بر اساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن خشک گیاه تعیین شد (Chang *et al.*, 2002).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۰/۱ گرم پودر را در ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۵۰ درصد حل کرده و از آن به مقدار ۱۰ میکرولیتر برداشته شد. سپس مقدار مشخصی از آن را در یک لوله آزمایش ریخته و به آن ۲۰۰۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه نگهداری و جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر تعیین شد. در نهایت با استفاده از رابطه (۲) میزان به

دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد اندازه‌گیری شد (Akowuah *et al.*, 2005).

$$DPPH = \frac{A_{blank} - A_{sample}}{A_{blank}} \times 100 \qquad (۲)$$

A_{blank}: میزان جذب بلانک، A_{sample}: میزان جذب نمونه و DPPH: درصد مهار رادیکال‌های آزاد را نشان می‌دهد.

در مرحله بعد جهت مقایسه شرایط مختلف خشک‌کردن، تعیین فاصله بین گزینه‌ها، انتخاب بهترین گزینه و رتبه‌بندی آن‌ها از روش تاپسیس استفاده شد. این روش در هفت مرحله به شرح زیر بیان می‌گردد:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری با m گزینه (متغیر مستقل) و n معیار (متغیر وابسته)

۲- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری ، $r_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum (X_{ij})^2}$
$i = 1,2, \dots, m$, j=1, 2……..n

۳- به‌دست آوردن وزن هر یک از معیارها و ایجاد ماتریس وزنی نرمال شده $V_{ij} = W_{ij} * r_{ij}$

وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون تعیین گردید (Li *et al.*, 2011). اصول این روش به شرح زیر می‌باشد:

۳-۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

۳-۲- ایجاد ماتریس نرمال شده $P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}}$ j= 1…n,

۳-۳- محاسبه آنتروپی هر شاخص:
$E_j = -K \sum_{i=1}^{m} (P_{ij} * LN P_{ij})$ K= 1/lnm, $0 \le E_j \le 1$

۳-۴- محاسبه فاصله هر شاخص از آنتروپی $d_j = 1 - E_j$

۳-۵- محاسبه وزن هر یک از معیارها $W_j = d_j / \sum_{k=1}^{n} d_j$

۴- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی:
$A^+ = \{(\max V_{ij} \mid j \in J), (\min V_{ij} \mid j \in J')\}$,
$A^- = \{(\min V_{ij} \mid j \in J), (\max V_{ij} \mid j \in J')\}$

۵- تعیین فاصله گزینه های ماتریس نرمال وزن‌دار از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی:
$S_i^+ = \sqrt{\sum (V_{ij} - V_i^+)^2}$, $S_i^- = \sqrt{\sum (V_{ij} - V_i^-)^2}$

۶- محاسبه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل: $C_i^+ = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$

۷-رتبه‌بندی گزینه‌ها

نتایج و بحث

محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی هر یک از داده‌های آزمایشی در جدول ۱ نشان داده شده است. آنالیز واریانس برای هر یک از متغیرهای وابسته به همراه ضرایب رگرسیونی در جدول ۲ گزارش شده است. باتوجه به نتایج جدول ۲، مشاهده می‌شود که طرح باکس-بنکن با یک مدل درجه دوم سبب معنی‌دار شدن مدل رگرسیونی، غیر معنی‌دار شدن نقاط پرت و ضرایب همبستگی مناسب برای هر یک از پاسخ‌ها شده است. مقادیر ضریب تبیین برای محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب ۰/۹۹۳۷، ۰/۹۹۳۳، ۰/۹۸۵۸، ۰/۹۸۸ و ۰/۹۸۷ به‌دست آمد.

محتوای رطوبتی

اثر پارامترهای دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی بر محتوای رطوبتی نمونه‌های پودر در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش دمای هوای ورودی و نرخ جریان هوای فشرده محتوای رطوبتی نمونه‌های پودر به‌طور معنی‌داری ($p<0/01$) از مقدار ۱۱/۳ درصد به ۶/۲ درصد کاهش یافت (شکل ۲). می‌توان چنین نتیجه گرفت که با کاهش اندازه ذرات و افزایش دمای هوای خشک‌کردن، گرادیان دمایی بین ذرات اتمیزه شده و جریان هوا افزایش می‌یابد، در نتیجه نرخ تبخیر سریع‌تر و محتوای رطوبت نمونه‌ها، کاهش می‌یابد. مظفر و کومار (Muzaffar and Kumar, 2015) در تحقیقی که بر روی تمبر هندی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزایش دمای هوای ورودی سبب کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌های پودر می‌شود.

مقدار افزایش غلظت ماده کمکی از ۱۰ تا ۲۵ درصد به‌طور معنی‌داری ($p<0/01$) سبب کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌های پودر از ۹ درصد به ۷/۹ درصد شد (شکل ۲). این نتیجه منطبق بر یافته‌های واتسون و همکاران (Watson *et al.*, 2017) است، چرا که با افزایش غلظت ماده کمکی مقدار محتوای جامد در عصاره افزایش و در نتیجه نرخ تبخیر رطوبتی کاهش می‌یابد، بنابراین رطوبت نهایی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. تأثیر افزایش ماده کمکی پکتین سیب بر میزان محتوای رطوبت تا ۲۵ درصد سبب کاهش محتوای رطوبتی و در غلظت‌های بالا باعث افزایش محتوای رطوبت نمونه‌های پودر تا حدود ۸/۵ شد. در غلظت‌های بالا ویسکوزیته خوراک بیشتر و رطوبت به آسانی از محصول خارج نمی‌گردد در نتیجه محتوای رطوبتی نهایی پودر افزایش می‌یابد.

عملکرد خشک کردن

عملکرد خشک‌کردن یک ویژگی کلیدی در تولید پودر با خشک‌کن پاششی است که به‌وسیله اندازه ذرات پودر به‌دست آمده تحت تأثیر قرار می‌گیرد. رنج اندازه ذرات خشک شده در این تحقیق در محدوده‌ی ۲ الی ۵۰ میکرومتر بود. عملکرد خشک‌کردن نمونه‌های پودر در محدوده ۷۳-۱۶ درصد متغیر بود (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تمامی متغیرهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر مقدار عملکرد خشک‌کردن نمونه‌های پودر بادرشبو داشته است. باتوجه به شکل ۲ مشاهده می‌گردد که با افزایش دمای هوای ورودی و نرخ جریان هوای فشرده، عملکرد خشک‌کردن به‌طور معنی‌داری ($p<0/01$) از ۲۰ درصد به ۷۰ درصد افزایش پیدا کرد. باتوجه به نتایج فوق، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با افزایش

نرخ جریان هوای فشرده قطر قطرات و اندازه ذرات کاهش می‌یابد. ذرات کوچک چگال‌تر و احتمال بازیافت آن بیشتر از ذرات دیگر است، از سوی دیگر در دماهای بالاتر انتقال هم‌زمان حرارت و جرم بیشتر می‌باشد در نتیجه ذرات سریع‌تر خشک شده و فرصت برخورد و چسبیدن به دیواره محفظه خشک‌کن را نخواهند داشت.

فضائلی و همکاران، شیشر و همکاران (Fazaeli *et al*., 2012; Shishir *et al*., 2014) به‌ترتیب نتایج مشابهی را در مورد زیتون محلی و آبمیوه توت سیاه گزارش کردند. افزایش مقدار ماده کمکی سبب افزایش عملکرد خشک‌کردن از ۵۰ درصد به ۶۰ درصد شد (شکل ۲). این افزایش بازده ناشی از نقش و عملکرد پکتین سیب به‌عنوان ماده کمکی و ایجاد یک لایه و فیلم نازک غیرچسپنده اطراف ذرات در حین خشک‌کردن می‌باشد.

جدول ۱- داده‌های آزمایشی مورد استفاده در روش سطح پاسخ و تاپسیس

Table 1- The experimental data for response surface methodology and TOPSIS method

گزینه‌ها Run	IAT[1] (°C)	CAF[2] (lit.min^{-1})	C[3] (%)	معیارها Criteria M.C[4] (%)	DP[5] (%)	TPC[6]	TFC[7]	AA[8] (%)
1	120	5	0.2	11.3	16	4.36	0.23	32.56
2	150	10	0.1	7.8	65	5.31	0.26	36.5
3	150	7.5	0.2	7.9	61	6.4	0.4	58
4	180	7.5	0.3	6.36	69	4.5	0.23	34.11
5	150	7.5	0.2	7.9	59	6.4	0.4	58
6	120	10	0.2	8	55	5.24	0.3	36
7	180	10	0.2	6.2	73	3.75	0.21	22.09
8	180	5	0.2	7.86	65	5.42	0.28	21.42
9	150	7.5	0.2	7.9	60	6.4	0.4	58
10	150	10	0.3	6.84	68	4.7	0.26	34.72
11	150	5	0.3	10	38	5.06	0.24	35.33
12	120	7.5	0.3	9.5	40	3	0.2	42.41
13	120	7.5	0.1	10.3	30	5.83	0.32	43.21
14	150	5	0.1	10.1	35	5.35	0.27	39.98
15	180	7.5	0.1	7.66	67	3.8	0.21	28.29

۱- دمای هوای ورودی، ۲- نرخ جریان هوای فشرده، ۳- غلظت ماده کمکی، ۴- محتوای رطوبتی، ۵- عملکرد خشک‌کردن، ۶- محتوای فنول کل، ۷- محتوای فلاونوئیدکل، ۸- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

1- Inlet air temperature, 2- Compressed air flow, 3- Concentration of carrier, 4- Moisture content, 5- Drying performance, 6- Total phenol content, 7- Total flavonoid content, 8- Antioxidants activity

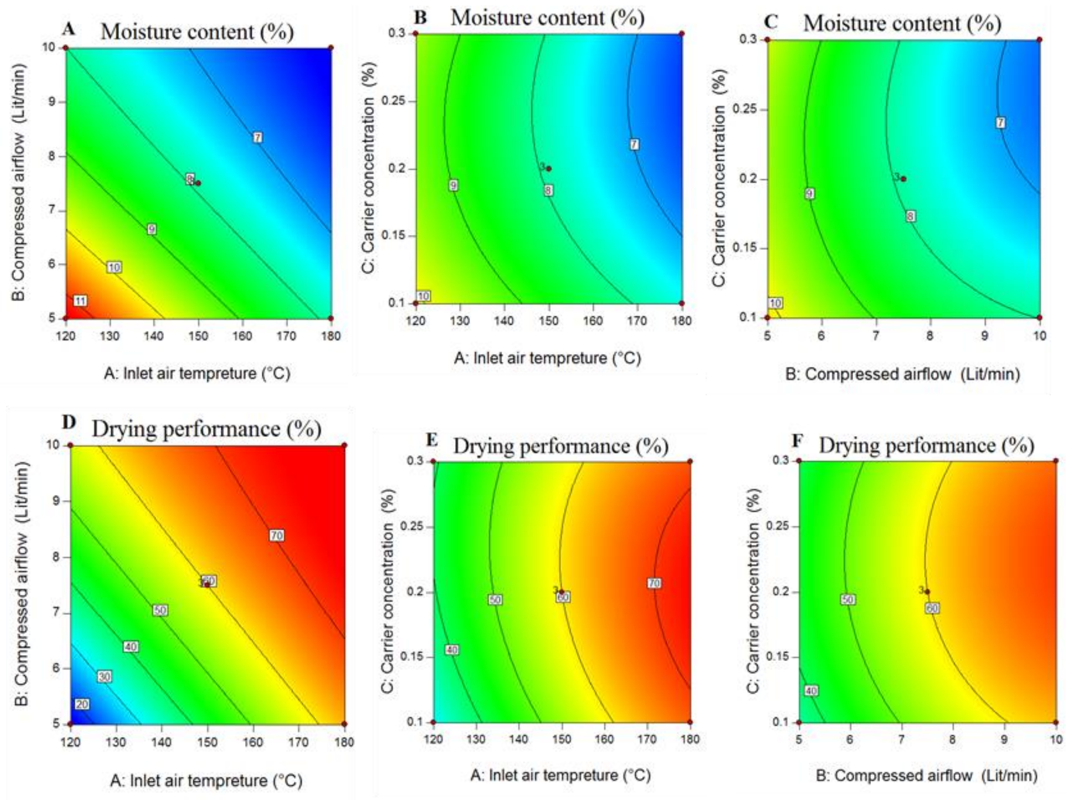
جدول ۲- تجزیه واریانس هر یک از پاسخ‌ها در نمونه‌های پودر خشک‌شده

Table 2- Analysis of variance each response of the spray dried powder

منابع تغییرات Source of variations	پاسخ‌ها Responses MC (%)	DP (%)	TPC (mg GAE.gr DW^{-1})	TFC (mg QUE.gr DW^{-1})	AA (%)
Model	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0003	0.0003
X_1	<0.0001	<0.0001	0.1581	0.0214	0.0006
X_2	<0.0001	<0.0001	0.0949	0.7941	0.9976
X_3	0.0026	0.0427	0.0034	0.0159	0.8331
$X_1 X_2$	0.0096	0.0012	0.0016	0.0028	0.5644
$X_1 X_3$	0.2696	0.1503	0.0003	0.0028	0.2005
$X_2 X_3$	0.0859	1.0000	0.4697	0.2956	0.5509
X_1^2	0.3625	0.0251	<0.0001	<0.0001	<0.0001
X_2^2	0.0241	0.0251	0.0089	0.0002	<0.0001
X_3^2	0.0078	0.0130	0.0005	<0.0001	0.0032
Lack of fit	-	0.1061	-	-	-
R^2	0.9937	0.9933	0.9858	0.9880	0.987
CV	2.41	4.41	4.06	4.58	5.8

X_1، X_2 و X_3 به‌ترتیب بیانگر دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی می‌باشد.

X_1, X_2, and X_3 denotes the Inlet air temperature (°C), Compressed airflow (Lit.min^{-1}) and Concentration of carrier (%) respectively.



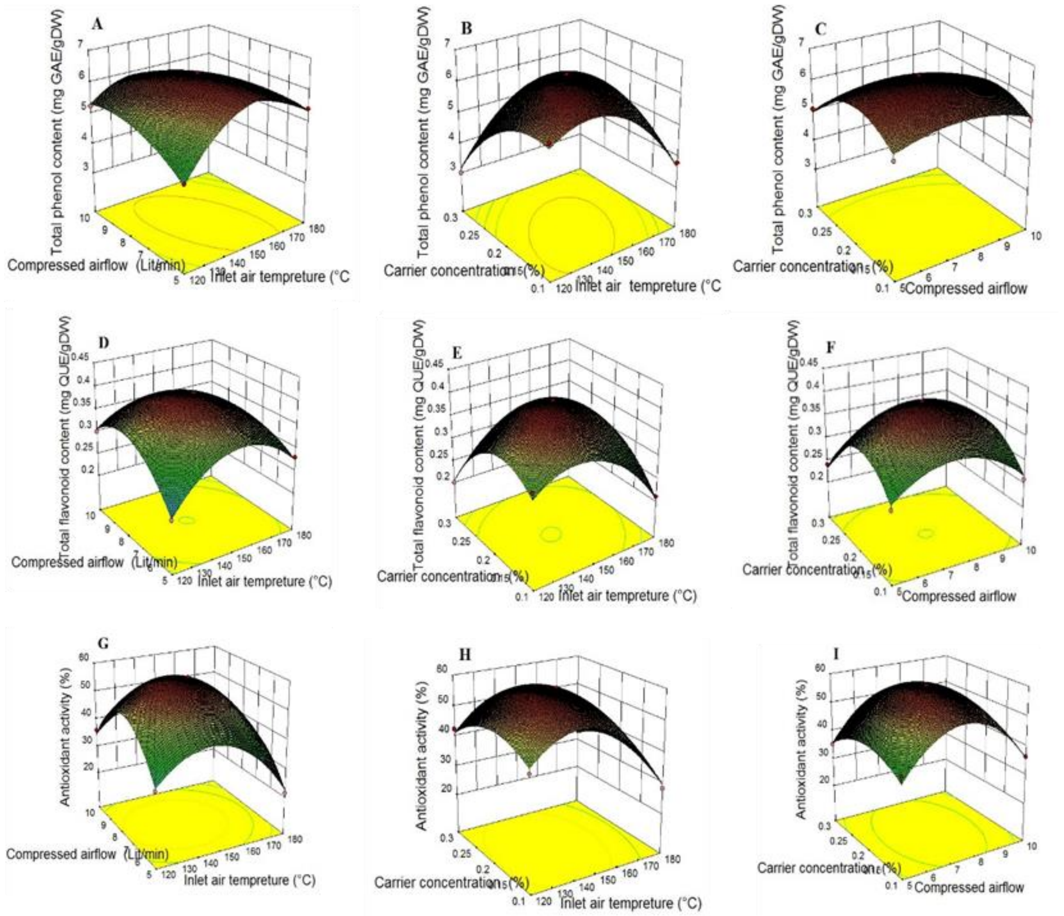
شکل ۲- نمودار کانتور برای محتوای رطوبتی (A-C) و عملکرد خشک‌کردن (D-F) پودر بادرشبو در طی خشک‌کردن پاششی

Fig.2. Contour plots for Moisture content (A-C), Drying performance (D-F) of the powders produced by spray drying of Moldavian Balm plant extract

محتوای فنل کل

محتوای فنل کل نمونه‌های پودر در محدوده‌ی ۴/۶-۳ میلی‌گرم در گرم برگ گیاه متغیر بود (جدول ۱). از جدول ۲ مشاهده می‌گردد که اثر متقابل دما- نرخ جریان هوای فشرده و اثر متقابل دما- ماده کمکی تأثیر معنی‌دار بر محتوای فنل کل داشته است ($p<0.01$). از شکل‌های سه‌بعدی (شکل ۳) مشاهده می‌گردد اثر تغییرات دمای هوای ورودی بر مقدار فنل کل وابسته به غلظت ماده کمکی است. در غلظت پایین ماده کمکی، با افزایش دمای هوای ورودی مقدار فنول کل از ۴/۵ تا ۵/۵ میلی‌گرم در گرم افزایش یافت. در دماهای پایین مدت زمان لازم برای خشک‌شدن زیاد است، لذا رطوبت داخل محصول می‌تواند باعث انجام واکنش‌های شیمیایی ناخواسته و تغییر ماهیت ترکیبات شود، بنابراین مقدار فنول کل تا حدود ۳/۸ میلی‌گرم در گرم کم شده است. افزایش دما تا ۱۵۰ درجه سلسیوس تأثیر مثبتی بر مقدار فنل‌کل داشت در حالی‌که در دماهای بالا کاهش یافت. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد بعد از گذر از نقطه ماکزیمم، دمای بالا سبب تغییر ماهیت محصول و آسیب‌های حرارتی می‌شود و رطوبت داخل محصول نقشی در کاهش مقدار فنول کل نداشته است. سابلانیا و بوسکو (Sablania and Bosco, 2018) نتایج مشابهی را در مورد خشک‌کردن پاششی عصاره برگ کاری (Curry leaf) گزارش کردند.

افزایش نرخ جریان هوای فشرده و دمای خشک کردن به‌ترتیب از $7.5\ \mathrm{Lit\ min^{-1}}$ و ۱۵۰ °C به $10\ \mathrm{Lit\ min^{-1}}$ و ۱۸۰ °C، سبب کاهش محتوای فنل کل از ۶/۴ به ۳/۷۵ میلی‌گرم در گرم شد (شکل ۳). با افزایش نرخ جریان هوای فشرده اندازه ذرات کاهش می‌یابد، ذرات کوچک‌تر حاوی رطوبت پایین‌تری هستند و علی‌رغم مدت زمان حرارتی کمتر دچار تخریب حرارتی خواهند شد. بنابراین محتوای فنل کاهش می‌یابد.



شکل ۳- اثر پارامترهای فرآیند بر محتوای فنل کل (A-C)، فلاونوئید کل (D-F) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (G-I) پودر گیاه بادرشبو

Fig.3. Response surface plots (3D) showing the effects of process parameters on Total Phenol Content (mg GAE.g DW^{-1}) (A-C), Total flavonoid content (mgQUE.gDE^{-1}) (D-F), Antioxidant activity (%) (G-I) of Moldavian Balm plant powder

محتوای فلاونوئید کل

محتوای فلاونوئید نمونه‌های پودر در محدوده‌ی ۰/۴-۰/۲ میلی‌گرم در گرم برگ گیاه متغیر بود (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس نمونه‌های پودر بادرشبو نشان داد، اثرات ساده متغیرهای ماده کمکی و دما هوای ورودی تأثیر معنی‌دار بر محتوای فلاونوئید کل به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد گذاشته‌اند (جدول ۲). افزایش دمای هوای ورودی تا دمای ۱۵۵درجه سلسیوس اثر مثبتی بر مقدار ترکیبات فلاونوئیدی موجود در پودر بادرشبو داشت، ولی در دماهای بالا محتوای فلاونوئید کل کاهش یافت (شکل ۲). این نتیجه منطبق بر یافته (Lim and Murtijaya, 2007) است؛ چرا که دماهای بالا سبب تخریب زنجیره‌های فنلی و همچنین دیواره‌های سلولی و از بین رفتن ترکیبات فلاونوئیدی می‌شود. بنابراین محتوای فلاونوئید کل کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت ماده کمکی تا مقدار ۲۰ درصد سبب افزایش محتوای فلاونوئید کل در نمونه‌ها پودر شد (شکل ۳). این افزایش ناشی از اثر حفاظتی ماده کمکی به‌عنوان یک پوسته از اجزای فعال عصاره می‌باشد. در غلظت‌های بالا (بیشتر از ۲۰ درصد) مقدار فلاونوئید کل از ۰/۴ به ۰/۳ میلی‌گرم در گرم کاهش یافت، چنین استنباط می‌شود که در غلظت‌های بالا رطوبت بر اثر حفاظتی ماده کمکی غالب شده است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پودر در محدوده‌ی ۶۰-۲۱/۴۲ درصد در گیاه متغیر بود (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس نمونه‌های پودر بادرشبو نشان داد، متغیر دما تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد گذاشته است (جدول ۲). افزایش دمای هوای ورودی تا ۱۵۰ درجه اثر مثبتی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها داشت، به‌طوری‌که فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها از ۴۵ درصد به ۶۰ درصد رسیده است، اما در دماهای بالا فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها کاهش یافت (شکل ۳). خاصیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرشبو بیشتر مرتبط به ترکیبات فنولی و فلاونوئید کل موجود در عصاره است، به عبارتی نسبت‌های انتخاب

شده در اتانول و آب روش مناسبی در استخراج ترکیبات هدف می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به حساسیت این ترکیبات به دماهای بالا نمونه‌ها دچار تخریب حرارتی و واکنش اکسیداتیو خواهند شد، بنابراین فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. توین و همکاران (Tuyen *et al.*, 2010) نتایج مشابهی را در مورد کدو خاردار (Momordica cochinchinensis) گزارش کردند. افزایش مقدار ماده کمکی و افزایش نرخ جریان هوای فشرده تأثیر معناداری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پودر بادرشبو نداشت.

بهینه‌سازی فرآیند به‌وسیله تاپسیس و روش سطح پاسخ

روش تاپسیس برای انتخاب بهترین شرایط خشک‌کردن پاششی عصاره گیاه بادرشبو استفاده شد. بدین منظور ابتدا گزینه‌ها و معیارهای مورد نظر جهت تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری شناسایی شدند. محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان معیارها و متغیرهای دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی به‌عنوان گزینه‌ها انتخاب شدند (جدول ۱). در مرحله بعد داده‌ها با استفاده از معادله ذکر شده در اصول هفت‌گانه تاپسیس نرمال‌سازی شدند. سپس وزن هر یک از معیارها با روش آنتروپی شانون مشخص شد. وزن هر یک از معیارهای محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و محتوای فلاونوئید کل در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر محتوای رطوبتی و عملکرد خشک‌کردن به‌ترتیب کمترین و بیشترین وزن را با مقادیر ۰/۰۹۲۹ و ۰/۳۴۵۵ گرفته‌اند. در مرحله بعد نقاط ایده‌آل مثبت و منفی برای هر یک از معیارها محاسبه شد. در نهایت پس از تعیین فاصله گزینه‌های ماتریس نرمال وزن‌دار از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی و محاسبه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل، رتبه‌بندی گزینه‌ها جهت انتخاب بهترین شرایط خشک‌کردن پاششی به‌دست آمد. بر طبق نتایج به‌دست آمده تیمار با بیشترین مقدار در Cl[1] بهترین گزینه برای شرایط بهینه خشک‌کردن می‌باشد (شکل ۳). بر این اساس تیمار با دمای هوای ۱۵۰ درجه سلسیوس، نرخ جریان هوای فشرده ۷/۵ لیتر بر دقیقه و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد رتبه اول (جدول ۴) و تیمار با دمای هوای ۱۲۰ درجه سلسیوس، نرخ جریان هوای فشرده ۵ لیتر بر دقیقه و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد رتبه آخر را به خود اختصاص داد. همچنین بهینه کردن پارامترهای فرآیند خشک‌کردن پاششی برای دستیابی به سطوح بهینه محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد. درجه اهمیت و ضریب وزنی هر یک از متغیرها در جدول ۳ آورده شده است. خواص شیمیایی و عملکرد خشک کردن جزو اصلی‌ترین شاخص‌های پودر در ارزیابی‌های اقتصادی می‌باشند. درجه اهمیت هر یک از شاخص‌ها بر همین مبنا به‌دست آمد. می‌توان بر مبنای نیاز بازار و تولید صنعتی پودر ارزش متغیرها را تغییر داد و بهینه‌سازی فرآیند را انجام داد. با توجه به درجه اهمیت هر یک از متغیرهای وابسته محدوده تغییرات تابع مطلوبیت از ۱-۰ تغییر می‌کند، معادله تابع مطلوبیت میانگین هندسی کل متغیرهای وابسته می‌باشد.

جدول ۳- وزن‌دهی هر یک از پاسخ‌ها در پودر بادرشبو با استفاده از روش تاپسیس و سطح پاسخ

Table 3- Weights of the responses for Moldavian balm powder using TOPSIS and RSM method

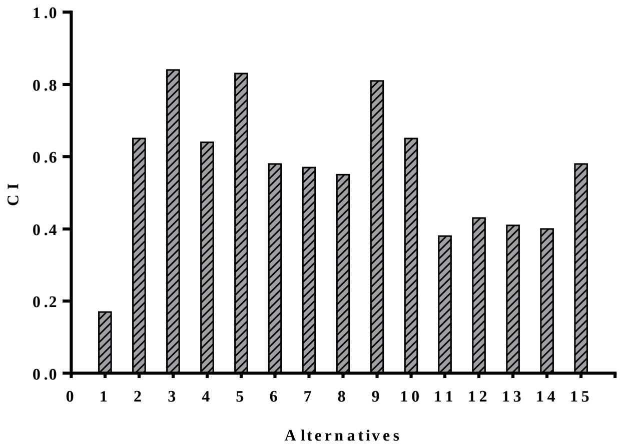
متغیرها Variables	درجه اهمیت Importance	بیشترین مقدار Upper limit	کمترین مقدار Lower limit	هدف Goal	وزن‌ها Weights
IAT[1]	3	180	120	in range	-
CAF[2]	3	10	5	in range	-
C[3]	3	0.3	0.1	in range	-
MC[4] (%)	1	11.3	6.2	Minimize	0.0929
DP[5] (%)	5	73	16	Maximize	0.3455
TPC[6] (mg GAE.gr DW^{-1})	2	6.4	3	Maximize	0.1245
TFC[7] (mg QUE.gr DW^{-1})	3	0.4	0.2	Maximize	0.173
AA[8] (%)	4	58	21.42	Maximize	0.264

۱- دمای هوای ورودی، ۲- نرخ جریان هوای فشرده، ۳- غلظت ماده کمکی، ۴- محتوای رطوبتی، ۵- عملکرد خشک‌کردن، ۶- محتوای فنول کل، ۷- محتوای فلاونوئید کل، ۸- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

1- Inlet air temperature, 2- Compressed air flow, 3- Concentration of carrier, 4- Moisture content, 5- Drying performance, 6- Total phenol content, 7- Total flavonoid content, 8- Antioxidants activity.

نتایج بهینه‌سازی برای تحلیل همزمان کل شاخص‌ها در جدول ۴ آورده شده است. بهترین نتیجه در دمای هوای ۱۵۲/۵ °C، نرخ جریان هوای فشرده ۸/۰۴۶ Lit min^{-1} و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد به‌دست آمد. در این شرایط مقدار محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب ۷/۵۳ درصد، ۶۳/۹۳ درصد، ۶/۳۲ میلی‌گرم در گرم، ۰/۳۹۴ میلی‌گرم در گرم و ۵۶/۶۷ درصد، با ارزش مطلوبیت ۰/۹۰۸ به‌دست آمد.

1- Closeness



شکل ۳- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس شاخص Cl
Fig.3. Ranking of alternative based on Cl index

جدول ٤- نقاط بهینه پیشنهادی با استفاده از دو روش سطح پاسخ و تاپسیس
Table 4- The response value of optimum condition using RSM and TOPSIS method

روش Method	IAT[1]	CAF[2]	C[3]	M.C[4]	DP[5]	TPC[6]	TFC[7]	AA[8]
تاپسیس TOPSIS	150	7.5	0.2	7.9	61	6.4	0.4	58
سطح پاسخ RSM	152.5	8.046	0.2	7.53	63.93	6.32	0.394	56.67

۱- دمای هوای ورودی، ۲- نرخ جریان هوای فشرده، ۳- غلظت ماده کمکی، ۴- محتوای رطوبتی، ۵- عملکرد خشک‌کردن، ۶- محتوای فنول کل، ۷- محتوای فلاونوئید کل، ۸- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

1-Inlet air temperature, 2- Compressed air flow, 3- Concentration of carrier, 4-Moisture content, 5- Drying performance, 6- Total phenol content, 7- Total flavonoid content, 8- Antioxidants activity

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بهینه کردن پارامترهای خشک‌کردن پاششی با استفاده از دو روش سطح پاسخ و تاپسیس انجام شد. در مجموع ۱۵ آزمایش برای بررسی اثر متغیرهای دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت ماده کمکی بر روی محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی انجام شد و نتایج زیر حاصل شد:

– اثرات ساده دمای هوای ورودی و نرخ جریان هوای فشرده اثر معنی‌داری بر روی محتوای رطوبتی و عملکرد خشک‌کردن نمونه‌ها گذاشت، در حالی‌که غلظت ماده کمکی بر روی خواص شیمیایی نمونه‌ها اثر معنی‌داری داشت.

– افزایش دمای هوای ورودی منجر به کاهش محتوای رطوبتی، مجتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها شد، در حالی‌که عملکرد خشک‌کردن افزایش یافت. اگرچه افزایش دما اثر مثبتی بر محتوای رطوبتی و عملکرد خشک‌کردن نمونه‌ها داشت ولی خواص شیمیایی پودر به درجه حرارت‌های بالا حساس بوده و دچار تخریب حرارتی شدند.

– افزایش غلظت ماده کمکی منجر به کاهش محتوای رطوبتی نمونه‌ها شد، در حالی‌که محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها افزایش یافت.

– افزایش نرخ جریان هوای فشرده سبب کاهش محتوای رطوبتی شد در حالی‌که عملکرد خشک‌کردن افزایش یافت. همچنین اثر ساده نرخ جریان هوای فشرده تأثیر معنی‌داری بر خواص شیمیایی نمونه‌های پودر نداشت.

در پایان لازم است از بین پودرهای تولید شده، یک پودر به‌عنوان پودر ایده‌آل انتخاب شود. بر همین اساس بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از دو روش سطح پاسخ و تاپسیس انجام شد. محتوای رطوبتی، عملکرد خشک‌کردن، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خصوصیات با ارزش در تعیین کیفیت پودر هستند، بنابراین به‌عنوان شاخص‌های بهینه‌سازی در نظر گرفته شدند. نقطه بهینه در روش سطح پاسخ در دمای هوای ورودی °C ۱۵۲/۵، نرخ جریان هوای فشرده $Lit\ min^{-1}$ ۸/۰۴۶ و ماده کمکی ۲۰ درصد

به‌دست آمد. همچنین در روش تاپسیس بعد از رتبه‌بندی گزینه‌ها، بهترین شرایط در دمای هوای ۱۵۰ °C، نرخ جریان هوای فشرده ۷/۵ Lit min^{-1} و غلظت ماده کمکی ۲۰ درصد به‌دست آمد. با مقایسه دو روش می‌توان نتیجه گرفت، علی‌رغم این که هر دو روش به نقاط بهینه یکسانی دست یافتند ولی روش سطح پاسخ کارآمدتر است، چرا که این روش علاوه بر بهینه‌سازی فرآیند یک مدل ریاضی ارائه می‌دهد و روند فرآیند را پیش‌بینی می‌کند، در حالی‌که روش تاپسیس فقط یک رتبه‌بندی از گزینه‌ها را ارائه می‌دهد، و قادر به پیش‌بینی روند فرآیند نمی‌باشد.

References

1. Aghkhani, M., M. Abasspour-Fard, M. Bayati, H. Mortezapour, S. Saedi, and A. Moghimi. 2013. Performance analysis of a solar dryer equipped with a recycling air system and desiccant chamber. Journal of Agricultural Machinery 3: 92-103. (In Farsi).
2. Akowuah, G., Z. Ismail, I. Norhayati, and A. Sadikun. 2005. The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of Orthosiphon stamineus and evaluation of the free radical-scavenging activity. Food Chemistry 93: 311-317.
3. Bae, E. K., and S. J. Lee, 2008. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. Journal of Microencapsulation 25: 549-560.
4. Bahmanpour, H., S. Sajadiye, M. Sheikhdavoodi, and M. Zolfaghari. 2017. The Effect of Temperature and Drying Method on Drying Time and Color Quality of Mint. Journal of Agricultural Machinery 7: 415-426. (In Farsi).
5. Beketov, E., V. Pakhomov, and O. Nesterova. 2005. Improved method of flavonoid extraction from bird cherry fruits. Pharmaceutical Chemistry Journal 39: 316-318.
6. Bonjar, S. 2004. Evaluation of antibacterial properties of some medicinal plants used in Iran. Journal of Ethnopharmacology 94: 301-305.
7. Chang, C. C., M. H. Yang, H. M. Wen, and J. C. Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis 10.
8. Chaul, L. T., E. C. Conceição, M. T. F. Bara, J. R. Paula, and R. O. Couto. 2017. Engineering spray-dried rosemary extracts with improved physicomechanical properties: a design of experiments issue. Revista Brasileira de Farmacognosia 27: 236-244.
9. Chiu, Y. T., C. P. Chiu, J. T. Chien, G. H. Ho, J. Yang, and B. H. Chen. 2007. Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatin and poly (γ-glutamic acid) as carrier. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55 (13): 5123-5130.
10. Cordeiro, D. S., and W. P. Oliveira. 2005. Technical aspects of the production of dried extract of Maytenus ilicifolia leaves by jet spouted bed drying. International Journal of Pharmaceutics 299: 115-126.
11. Dastmalchi, K., H. D. Dorman, M. Koşar, and R. Hiltunen. 2007a. Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water-soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. LWT-Food Science and Technology 40: 239-248.
12. Dastmalchi, K., H. D. Dorman, I. Laakso, and R. Hiltunen. 2007b. Chemical composition and antioxidative activity of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extracts. LWT-Food Science and Technology 40: 1655-1663.
13. Domian, E., A. Brynda-Kopytowska, J. Cenkier, and E. Świrydow. 2015. Selected properties of microencapsulated oil powders with commercial preparations of maize OSA starch and trehalose. Journal of Food Engineering 152: 72-84.
14. Eren, I., and F. Kaymak-Ertekin. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. Journal of Food Engineering 79: 344-352
15. Ersus, S., and U. Yurdagel. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. Journal of Food Engineering 80: 805-812.
16. Fallah, S., M. Rostaei, Z. Lorigooini, and A. A. Surki. 2018. Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 115: 158-165.
17. Fazaeli, M., Z. Emam-Djomeh, A. K. Ashtari, and M. Omid. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. Food and Bioproducts Processing 90: 667-675.
18. Gallo, L., J. M. Llabot, D. Allemandi, V. Bucalá, and J. Piña. 2011. Influence of spray-drying operating conditions on Rhamnus purshiana (*Cáscara sagrada*) extract powder physical properties. Powder Technology 208: 205-214.
19. Lim, Y. Y., and J. Murtijaya. 2007. Antioxidant properties of Phyllanthus amarus extracts as affected by different drying methods. LWT-Food Science and Technology 40: 1664-1669.
20. Li, X., K. Wang, L. Liu, J. Xin, H. Yang, and C. Gao. 2011. Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. Procedia Engineering 26: 2085-2091.

21. Marinova, D., F. Ribarova, and M. Atanassova. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy 40: 255-260.
22. Martínez-Vázquez, M., R. Estrada-Reyes, A. Martínez-Laurrabaquio, C. López-Rubalcava, and G. Heinze. 2012. Neuropharmacological study of *Dracocephalum moldavica* L. (Lamiaceae) in mice: sedative effect and chemical analysis of an aqueous extract. Journal of Ethnopharmacology 141: 908-917.
23. Mestry, A., A. Mujumdar, and B. Thorat. 2011. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. Drying Technology 29: 1121-1131.
24. Muzaffar, K., and P. Kumar. 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. Powder Technology 279: 179-184.
25. Namavar, S. S., J. A. Parian, and R. A. Chayjan. 2018. Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying. Journal of Agricultural Machinery 8: 295-308. (In Farsi).
26. Oztekin, S., and M. Martinov, 2014. Medicinal and aromatic crops: harvesting, drying, and processing: CRC Press.
27. Pierucci, A. P. T., L. R. Andrade, M. Farina, C. Pedrosa, and M. H. M. Rocha-Leão. 2007. Comparison of α-tocopherol microparticles produced with different wall materials: pea protein a new interesting alternative. Journal of Microencapsulation 24: 201-213.
28. Rahmati, E., F. Sharifian, and M. Fattahi. 2018. Effects of different drying methods and additives on the physicochemical properties of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 5: 781-793. (In Farsi).
29. Razmipour, M., N. A. Naeini, H. Mortezapour, and A. G. Moghaddam. 2015. Performance Evaluation of a Solar Dryer with Finny, Perforated Absorber Plate Collector Equipped with an Air Temperature Control System for Dill Drying. Journal of Agricultural Machinery 5: 134-142. (In Farsi).
30. Sablania, V., and Bosco, S. J. D. 2018. Optimization of spray drying parameters for Murraya koenigii (Linn) leaves extract using response surface methodology. Powder Technology 335: 35-41.
31. Sadeghi, A., F. Shahidi, S. A. Mortazavi, and M. N. Mahalati, 2008. Evaluation of different parameters effect on maltodextrin production by–amylase Termamyl 2-x. World Applied Sciences Journal 3: 34-9.
32. Shishir, M. R. I., F. S. Taip, N. A. Aziz, and R. A. Talib. 2014. Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2: 74-81.
33. Tan, S. P., C. K. Tuyen, S. E. Parks, C. E. Stathopoulos, and P. D. Roach. 2015. Effects of the spray-drying temperatures on the physiochemical properties of an encapsulated bitter melon aqueous extract powder. Powder Technology 281: 65-75.
34. Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering 88: 411-418.
35. Tuyen, C. K., M. H. Nguyen, and P. D. Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. Journal of Food Engineering 98: 385-392.
36. Watson, M. A., J. M. Lea, and K. L. Bett-Garber. 2017. Spray drying of pomegranate juice using maltodextrin/cyclodextrin blends as the wall material. Food Science & Nutrition 5: 820-826.
37. Yousefzadeh, S., F. Daryai, A. Mokhtassi-Bidgoli, S. Hazrati, T. Yousefzadeh, and K. Mohammadi. 2018. Morphological, essential oil and biochemical variation of *Dracocephalum moldavica* L. populations. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 10: 59-66.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 201-212

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۱۲-۲۰۱

Optimization the Spray-Drying Process of Moldavian Balm Plant Extract using Response Surface Methodology and TOPSIS Method

E. Rahmati[1], F. Sharifian[2*], M. Fattahi[3], G. Najafi[4]

Received: 06-01-2019
Accepted: 15-04-2019

Introduction

Dracocephalum moldavica L. is an annual plant with blue or white flowers and fragrant leaves which belongs to the family of Lamiaceae with the height of up to 80 cm. This plant is native to Central Asia and is accepted in Central and Eastern Europe. In Iran, it is mainly grown in the province of West Azarbaijan and the Alborz Mountains. The essential oils and extracts derived from the secondary metabolisms which are mainly used in the pharmaceutical industry, dietary, cosmetic, flavoring and also as tea and beverage with sugar or honey. The liquid extract of the herb contains a high percentage of water, which should evaporate to increase shelf-life, easy transport, handling and storage, the ease of standardization and preservation of the product quality. On the other hand, the active compounds of the extracts are affected by temperature, oxygen, light and enzymes. Therefore, because of the uses and benefits of herbal extracts, they need to be dried by a practical and effective method like spray drying. In literature still there are no studies taking into account to the comparisons between RSM and TOPSIS as two important optimization methods. So, as the main objective of the present work, the effects of moisture content, drying performance, total phenol content, total flavonoid content and antioxidant activity have been surveyed. Finally, the optimal point of each process variable was presented by two optimization methods.

Materials and Methods

Aerial parts of Moldavian balm plant were cleaned and drying of plant was carried out under shade and thin layer conditions. The extraction of Moldavian balm was obtained by maceration method using ethanol 50 % (v/v), plant to solvent ratio of 1/10 (w/v). After 48h, the extract was concentrated in a rotary evaporator (Buchi Rotavapor R-205, Switzerland) to obtain a solid concentration of 6%. The used carrier was: Maltodextrin and apple pectin. Different ratios of carrier were prepared, then the ratio was added to distilled water and stirred by a magnetic stirrer. Finally, the solution was mixed with extract. The drying of Moldavian Balm plant extract was performed using a spray-dryer (Büchi B-191, Switzerland) with co-current flow regime. The powders provided by the spray drying were stored in refrigerator until they were needed for the experiment.

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the Box-Behnken design with the second-order model has led to the meaningfulness of the model, insignificant of the Lack of Fit and the appropriate correlation coefficient for each of the responses. A total number of 15 experiments were conducted to investigate the effect of process variables such as inlet air temperature, compressed air flow rate and concentration of carriers on moisture content, drying performance, total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant activity of Moldavian balm powder. Inlet air temperature and compressed air flow rate had the most significant effect on moisture content and drying performance, while Chemical properties of the powder affected by changing the concentration of carriers.

Optimization parameters of the spray drying process was performed using surface response and TOPSIS methods. The optimum predicted conditions in the response surface method and TOPSIS method were obtained at inlet air temperature, compressed air flow rate and concentration of carrier (152.5-150°C), (8.046-7.5 lit min^{-1}) and 20%, respectively.

Conclusions

By comparing two methods, it can be concluded that although they could provide the same optimum points, the RSM is more efficient. Because RSM offers a mathematical model that can be used at any desired point of variables to predict the output quantities as well as describing the process trend, while TOPSIS method is unable to predict the process trend and only provides the ranking of alternatives.

Keywords: Drying conditions, Moldavian Balm powder, Optimization, RSM method, Spray-drying, TOPSIS method

1 and 4- PhD Student and Associate Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3- Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: f.sharifian@urmia.ac.ir)